

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Melihen, D., 2016. Idejna zasnova ureditve hudournika Gereš. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Rusjan, S., somentor Sodnik, J.): 32 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5956/>

Datum arhiviranja: 19-10-2016

University
of Ljubljana
Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Melihen, D., 2016. Idejna zasnova ureditve hudournika Gereš. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Rusjan, S., co-supervisor Sodnik, J.): 32 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5956/>

Archiving Date: 19-10-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO**

Kandidat:

DEAN MELIHEN

IDEJNA ZASNOVA UREDITVE HUDOURNIKA GEREŠ

Diplomska naloga št.: 71/B-VOI

CONCEPT OF REGULATION OF GEREŠ TORRENT

Graduation thesis No.: 71/B-VOI

Mentor:

doc. dr. Simon Rusjan

Somentor:

viš. pred. mag. Jošt Sodnik

Ljubljana, 22. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

Spodaj podpisani študent Dean Melihen, vpisna številka 26300363, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Idejna zasnova ureditve hudournika Gereš

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.141(043.2)
Avtor:	Dean Melihen
Mentor:	doc. dr. Simon Rusjan, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
Somentor:	viš. pred. mag. Jošt Sodnik, univ. dipl. inž. grad
Naslov:	Idejna zasnova ureditve hudournika Gereš
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	32 str., 16 sl., 18 tab.
Ključne besede:	hudournik, urejanje hudournikov, empirične enačbe, SAGA-GIS program, predlog ureditve struge

IZVLEČEK

Slovenija je reliefno zelo razgibana pokrajina. Prav tako je neenakomerno porazdeljena količina padavin. Obravnavano območje hudournika Gereš se nahaja v severno-vzhodnem delu Slovenije, ki je precej gorato in lahko prejme letno tudi 3000 mm padavin. To je razlog za veliko število hudourniških območji, ki povzročajo veliko nevšečnosti v tem delu države.

V diplomski nalogi sem se osredotočil na kritičen odsek hudournika, kjer voda prestopi brežine in ogroža bližnje stanovanjske objekte. Za ta odsek sem na podlagi empiričnih enačb ocenil velikost odtoka iz prispevnega območja, ki sem ga določil s pomočjo programa SAGA-GIS. Za hudournik sem opravil pregled stanja struge ter predlagal idejno zasnovo protipoplavne ureditve.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	627.141(043.2)
Author:	Dean Melihen
Supervisor:	Prof. Simon Rusjan, Ph.D.
Co supervisor:	Assist. Jošt Sodnik, M.Sc.
Title:	Concept of regulation of Gereš torrent
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	32 p., 16 fig., 18 tab.
Keywords:	torrent, torrent control, empirical equations, SAGA-GIS program, suggestion for regulation of river bed

ABSTRACT

Slovenia has a very diverse relief. It has also unevenly distributed rainfall. The area of torrent Gereš is located in north-western Slovenia, which is quite hilly and may receive an annual rainfall up to 3000 mm. That is the reason for a lot of torrential areas causing many troubles in that part of country.

In this thesis, I have focused on the critical section of the torrent, where water cross the embankments and endanger nearby residential buildings. On the basis of empirical equations I have estimated the runoff from the catchment area, which I have determined with the help of program SAGA-GIS. I have made a review of the channel and proposed a concept of flood-protection regulation.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Simonu Rusjanu in somentorju viš. pred. mag. Joštu Sodniku za vso strokovno pomoč in vodenje pri diplomski nalogi.

Posebna zahvala gre tudi mojim staršem, ki so mi omogočili študij in vedno stali ob strani.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BLOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
KAZALO SLIK	XIII
KAZALO PREGLEDNIC	XV
1 UVOD	1
2 SPLOŠNO O HUDOURNIKIH	2
3 UREJANJE HUDOURNIKOV	2
4 GRADBENOTEHNIČNI UKREPI	3
4.1 Prečni objekti	3
4.2 Vz dolžni objekti	4
4.3 Reguliranje struge vodotoka	4
5 HIDRAVLIKA HUDOURNIKOV	5
5.1 Tok s prosto gladino	5
5.2 Stalni enakomerni tok	6
6 OCENA PRETOKOV PO EMPIRIČNIH ENAČBAH	7
6.1 Ryvesova enačba (1884)	7
6.2 Fullerjeva enačba	7
6.3 Foersterjeva enačba	8
6.4 Hofmanova enačba (1921)	8
6.5 Weyrauchova enačba (1930)	8
6.6 Mellijeva enačba	10
6.7 Enačba Isowski (1886)	10
6.8 Kresnikova enačba	11
7 MANNINGOVA ENAČBA ZA DOLOČITEV HIDRAVLIČNE PREVODNOSTI STRUGE	12
7.1 Določanje Manningovega koeficienta v praksi	12
8 SAGA-GIS	14
8.1 Analiza prispevnega območja s pomočjo programa SAGA-GIS	14
9 NARAVNOGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI HUDOURNIŠKEGA OBMOČJA	15
9.1 Geografske značilnosti	15
9.2 Geologija	15
9.3 Meteorologija	16
10 PREGLED STANJA STRUGE	17

11	GEOMETRIJA IN HIDRAVLIČNA PREVODNOST STRUGE NA KRITIČNEM ODSEKU	20
11.1	Račun največje hidravlične prevodnosti struge po Manningovi enačbi na izbranem kritičnem odseku	21
12	IZRAČUN MAKSIMALNEGA PRETOKA PO EMPIRIČNIH ENAČBAH.....	21
12.1	Ryvesova enačba	21
12.2	Fullerjeva enačba.....	21
12.3	Foersterjeva enačba	22
12.4	Hofmanova enačba	22
12.5	Weyrauchova enačba.....	22
12.6	Mellijeva enačba.....	22
12.7	Enačba Isowski.....	22
12.8	Kresnikova enačba.....	23
12.9	Primerjava rezultatov empiričnih enačb	23
13	ZASNOVA PROTIPOPLAVNE UREDITVE KRITIČNEGA ODSEKA	23
13.1	Povzetek predvidenih ukrepov na hudourniku Gereš (IZVO-R projektiranje in inženiring d.o.o.).....	23
13.2	Avtorjev predlog ureditve.....	26
13.3	Račun hidravlične prevodnosti struge po ureditvi na kritičnem odseku s premostitvijo	28
13.4	Ocena strižnih napetosti s pomočjo Shieldsove enačbe	29
14	ZAKLJUČEK	30
VIRI.....		31

KAZALO SLIK

Slika 1: leseni pragovi s stopnjo (Trobec, 2011).....	4
Slika 2: primer gladkega obrežnega zidu (Gunzek, M., Burger, J., 2016).....	5
Slika 3: Bernoullijeva enačba (Zalokar, 2015).....	6
Slika 4: prispevno območje potoka Gereš pridobljeno z računalniškim programom SAGA-GIS.....	15
Slika 5: geološki prerez Bovške kotline (Panorama, 2016).....	16
Slika 6: geološki tloris Bovške kotline z legendo (Panorama, 2016).....	16
Slika 7: celotna situacija hudournika Gereš s pritoki (Atlas okolja, 2016).....	17
Slika 8: gosto naseljen del Bovca, kjer potok teče v trapeznem koritu iz kamna v betonu (avtor, terenski ogled 21.3.2016).....	18
Slika 9: potok Gereš (desno) in njegov levi pritok iz Žaršč (avtor, terenski ogled 21.3.2016).....	19
Slika 10: zemeljski nasip, ki usmerja vodo iz polja nazaj v strugo potoka (avtor, terenski ogled 21.3.2016).....	19
Slika 11: prečni prerez korita na kritičnem odseku (desni meander).....	20
Slika 12: Situacija območja Bovca s prikazanim območjem akumulacije iz porozne zemljine (IZVO-R, 2014).....	24
Slika 13: prikaz prereza skozi grapo pred in po izvedbi akumulacije iz porozne zemljine (IZVO-R, 2014).....	25
Slika 14: shematični prikaz delovanja akumulacije. Abscisa prikazuje čas, ordinata pa pretok. Modra črta predstavlja odtok brez vpliva akumulacije. (IZVO-R, 2014).....	25
Slika 15: situacija prikazuje protipoplavne ukrepe na kritičnem odseku (Atlas okolja, 2016).....	27
Slika 16: prečni prerez korita v kritičnem meandru s premostitvijo.....	28

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: največji specifični pretok (Kestnar, 2012).....	8
Preglednica 2: koeficient n_1 (Kestnar, 2012).....	9
Preglednica 3: koeficient n_2 (Kestnar, 2012).....	9
Preglednica 4: koeficient n_3 (Kestnar, 2012).....	9
Preglednica 5: koeficient n_4 (Kestnar, 2012).....	10
Preglednica 6: koeficient φ_0 (Kestnar, 2012).....	10
Preglednica 7: koeficient C_h (Kestnar, 2012).....	11
Preglednica 8: faktor m za velikost prispevnega območja (Kestnar, 2012).....	11
Preglednica 9: vrednosti koeficientov hrapavosti n_G po Manningu (Steinman, 2010).....	14
Preglednica 10: povratne dobe za ekstremne padavine za meteorološko postajo Bovec (ARSO, 2016)	17
Preglednica 11: največji pretok po Rv diplomskem delu yvesovi enačbi.....	21
Preglednica 12: največji pretok po Fullerjevi enačbi.....	21
Preglednica 13: največji pretok po Foersterjevi enačbi.....	22
Preglednica 14: največji pretok po Hofmanovi enačbi.....	22
Preglednica 15: največji pretok po Weyrauchovi enačbi.....	22
Preglednica 16: največji pretok po Mellijeve enačbi.....	22
Preglednica 17: največji pretok po enačbi Isowski.....	22
Preglednica 18: največji pretok po Kresnikovi enačbi.....	23

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Človek se na zemlji srečuje z naravnimi nesrečami ves čas svojega obstoja, kljub temu je še veliko problemov nerešenih. Škode, ki jih povzročajo poplave, absolutno in relativno naraščajo pri nas in v svetu sploh. (Brilly, 1994)

Slovenija je dežela, ki je zelo bogata z vodnimi viri. Prepreda jo skoraj 400 hudourniških območij z okoli 8000 km hudourniških strug, ki na mnogih mestih ogrožajo poseljena mesta in infrastrukturo. Prav to je razlog, da so pri nas med najbolj pogostimi naravnimi pojavi poplave. Te so v večji meri prisotne od začetka industrijske dobe, ko je človek zaradi želje po večjem dobičku začel posegati v prostor in poseljevati območja, ki so bila ob izrednih dogodkih poplavljenjena. Naša dežela leži v območju povirja večine rek, zato so poplave običajno hudourniškega značaja.

Cilj diplomske naloge je protipoplavna ureditev krajšega odseka hudournika Gereš, ki teče skozi severovzhodni del Bovca. Predstavljen bo pregled stanja struge, ter pregled poplavne in erozijske problematike obravnavanega hudournika. Določili smo maksimalno hidravlično prevodnost struge in na osnovi izrednotenih pretokov bodo predstavljeni ukrepi za zmanjšanje poplavne in erozijske nevarnosti. Podatki za hidrološki in hidravlični izračun so bili pripravljene z računalniškim programom SAGA-gis, s katerim smo ocenil velikost prispevnega območja za izbran hudournik.

2 SPLOŠNO O HUDOURNIKIH

Beseda hudournik v slovenščini opisuje potok z zelo velikim padcem. Hudourniki največkrat najdemo v gorskem ali predgorskem svetu. Njihova značilnost je, da hitro narastejo in to pogosto le za kratek čas. Največ škode povzročajo plavine (od peska in proda do drobirja večjih premerov in večjih skalnih blokov), ki jih narasla voda erodira in premešča v nižje ležeče predele. Med pomembnejše plavine štejemo tudi lesno plavje (les, debla, vejevje, korenine), ki ga hudournik iztrga v svojem vodozbirnem območju. (Mikoš, 2009)

Ločimo dve vrsti hudournikov, ki jih razvrščamo glede na njihove orografske značilnosti: (Jesenovec, 1995)

- visokogorske hudournike,
- hudournike sredogorja in gričevja.

Hkrati razlikujemo hudournike tudi glede na poreklo erozijskega drobirja, ki ga odplavljajo iz višinskih predelov v nižine. Ločimo: (Jesenovec, 1995)

- spiravce: hudournike, ki plavijo pretežno preperine
- podrivače: v njih prevladujejo plavine, ki nastanejo zaradi pretežno erozijskega delovanja hudournika oziroma kopanja lastnega dna, rušenja bregov in pobočij.

(Jesenovec, 1995)

Visokovodni val doseže svoje maksimalne pretočne količine hitro po začetku naraščanja odtoka, saj se po kratkotrajnih in intenzivnih nalivih voda hitro izliva po strmih pobočjih v strugo hudournika. Velik del vode v pomladnih mesecih prispeva taljenje snežne odeje v gorskem svetu. Zaradi visoke vsebnosti hudourniških plavin se lahko pojavi tudi drobirski tok, katerega spremljajo drugačne fizikalne lastnosti. Zanj so zaradi večje gostote toka lahko značilne še višje pretočne hitrosti. (Mikoš, 2009)

3 UREJANJE HUDOURNIKOV

Poplave in različne vrste erozij so naravni procesi, na katere lahko le delno vplivamo oz. jih omilimo. Ne moremo pa jih popolnoma preprečiti. (Brilly, 1994)

Osnovno načelo urejanja hudournikov je umiriti oz. zmanjšati dinamiko vlečne sile vode (tj. akcijske sile) in/ali povečati odpornost ostenja struge (tj. reakcijske sile). Velikost vlečne sile je ključnega pomena. Nanjo vpliva naklon nivelete, globina in količina vode, koeficient hrapavosti ostenja (zaraščenost struge) ter oblika struge. Pri nizkih in srednjih vodostajih vlečna sila največkrat ni

problematična oz. pravimo, da je v ravnovesju z odporom plavin. Ravnovesje pa se običajno poruši, ko nastopijo visoke vode. Takrat govorimo o škodljivem delovanju hudournika. (Suhadolnik, 2007)

Načrtovani pretok vodotoka in časovna razporeditev odtokov voda, sta dva hidrološka parametra, ki sta potrebna pri urejanju vodotokov. Določitev maksimalnega pretoka je odvisna od hidroloških razmer, ki so prisotne na obravnavanem povodju ter seveda od zahtev varnosti, katere sami postavimo. Izražamo pa jih v obliki pogostosti nastopa pretoka ali padavin. V Sloveniji in drugih alpskih državah največkrat dimenzioniramo na pretok s 100-letno povratno dobo, ki ga običajno označimo kot Q100. To je pretok z verjetnostjo nastopa enkrat v stotih letih. Tega določimo z ekstrapolacijo opravljenih meritev. Za podlago pa potrebujemo zanesljive meritve iz daljšega opazovalnega obdobja, ki so izmerjene na obravnavanem mestu. (Mikoš, 2000)

Za urejanje vodotokov lahko uporabimo gradbenotehnične in biotehnične posege v okolje. Z omenjenimi ureditvami vplivamo na hidravlični (pretočni) režim, režim premeščanja plavin ter na morfologijo vodotoka. Največkrat se poslužujemo posegov, ki onemogočijo poglobljanje dna struge, zaščito brežin, uravnavanje sproščanja, odpavljanja in transporta plavin ter razprševanju vodnih tokov. Ločimo vzdolžne in prečne objekte. Slednji so v hudourniški praksi z namenom kontroliranja padca dna struge pogosteje uporabljeni. Ko izberemo tehnični ukrep, moramo zagotoviti tudi stabilnost in mehansko odpornost le tega. Pri tem pomembno vlogo igra izbira materiala, ki ga poskušamo najti v bližnji okolici. Najpogosteje uporabljeni so kamen, les in kamen v betonu.

4 GRADBENOTEHNIČNI UKREPI

4.1 Prečni objekti

Prečni objekti zmanjšujejo vlečno silo in tako preprečujejo poglobljanje dna struge (globinsko erozijo), prekinjajo masovne prenose plavin ob neurjih in zmanjšujejo visokovodne valove. Delimo jih na pragove in pregrade. V praksi več uporabljamo pragove, saj pregrade ne omogočajo ribjih migracij. Primernejše so le v zgornjih delih hudournikov, kjer so večji padci ter močnejši erozijski procesi, saj je tam stabilnost brežin bolj ogrožena. Koristijo pa tudi pri zaustavljanju transporta sedimentov in plavin. Pragove delimo na talne in pragove s stopnjami.



Slika 1: leseni pragovi s stopnjo (Trobec, 2011)

So nižji od pregrad in morajo omogočati prehajanje organizmov. Ko jih dimenzioniramo moramo biti pozorni, da hitrost vodnega toka na pragu ne presega mej, ki še omogočajo obstanek organizmom. To je 3.5 m/s. Največkrat jih gradimo v srednjem in spodnjem toku vodotokov. Med prečne objekte spadajo tudi drče. Uporabljajo se v spodnjih odsekih vodotokov, s katerimi utrdimo struge z večjimi lokalnimi padci dna. Prav tako omogočajo migracijo vodnih organizmov. Gradijo se z naklonom okrog 10%. Za material uporabljamo kamen v betonu ali v suho. Pri širših vodotokih oblikujemo drče na tak način, da ob minimalnih pretokih skoncentriramo vodni tok na sredino drče in s tem omogočimo prehajanje organizmov tudi v sušnih obdobjih. (Suhadolnik, 2007)

4.2 Vzdolžni objekti

Vzdolžne ureditve so lahko vprašljive iz ekološkega vidika, zato se jim poskušamo izogibati, saj z njimi po navadi močno posegamo v vodni in obvodni prostor. Poskušamo kar se da ohraniti naravno strugo, naraven potek brežin in odstraniti vse ovire, ki bi ob visoki vodi vplivale na pretočnost struge. Te ovire so tudi potencialni krivec za nastanek poškodb v strugi, zaradi vrtinčenja tokov pride do povečanja erozijskih procesov. Kadar se naravne struge ne da ohraniti, poskušamo obdržati vsaj eno brežino (notranjo) nedotaknjeno. Ko želimo brežino obvarovati pred erozijo uporabimo točkovne posege, če pa želimo povečati pretočno zmogljivost struge pa uporabimo posege na daljšem odseku. (Suhadolnik, 2007)

4.3 Reguliranje struge vodotoka

Če obstoječa struga ni zmožna prevajati določenega pretoka, pridejo v poštev naslednji regulacijski ukrepi:

- povečanje površine prečnega prereza z izkopi ali z izgradnjo visokovodnih nasipov
- sprememba hrapavosti površin

- sprememba hidravličnega radija
- povečanje padca dna struge vodotoka

Če se odločimo za optimizacijo hidravlične prevodnosti struge vodotoka, najprej poskušamo ohraniti naravno delitev vodotoka na glavno strugo za prevajanje nizkih in srednjih pretokov in poplavno ravnico, kamor se zlivajo vode ob večjih pretokih. Na bolj utesnjenih vodnih zemljiščih, po navadi v naseljih tega ni mogoče izvesti, zato se poslužujemo gradnje gladkih skoraj navpičnih obrežnih zidov ali celo pokritih kinet. Razen v izjemnih primerih, ko zaradi utesnjenosti ni možna druga rešitev, gradnja vertikalnih zidov ni dovoljena tudi s strani upravljavca vodotokov, Direkcije za vode RS.



Slika 2: primer gladkega obrežnega zidu (Gunzek, M., Burger, J., 2016)

Obrežni zid je lahko izveden kot kamnita zložba iz obdelanega kamna, kot zid iz kamna položenega v cementno malto ali položenega v suho. Potrebno je zagotoviti tudi varnostno višino, ki predstavlja rezervo za primere pojavov stoječih valov, udarca valov ali obilnega plavja. Minimalna varnostna višina na brežinah naj znaša 0.5 m. Ta pa ne velja pri vodotokih z večjimi padci, prav tako ne pod mostovi, kjer je potrebno za varnostno višino dodati še 0.5 m do 1 m. (Mikoš, 2000) Med vzdolžne in prečne ureditve sodijo tudi jezbece, ki jih uporabljamo za odvajanje toka vode stran od brežin in določenih objektov, ki jih želimo zaščititi.

5 HIDRAVLIKA HUDOURNIKOV

5.1 Tok s prosto gladino

Glavna lastnost toka s prosto gladino je, da ima vzdolž toka oblikovano prosto gladino na katero lahko deluje atmosferski tlak okolice p_0 . Prav tako je pretočna hitrost odvisna le od lokacije v strugi in ne od časa. Ko se spopadamo s hudourniško problematiko, nas zanimajo pretočne razmere v strugi. Pri neurejenem hudourniku predstavljajo odtok plavine in količina vode. Eden izmed namenov pri urejanju je zmanjševanje premeščanja plavin in temu se najbolj približamo v obzidanih strugah. Za takšno urejeno stanje lahko za odtok predpostavimo samo vodo. (Mikoš, 2009)

5.2 Stalni enakomerni tok

Za reševanje mnogih problemov v hidravliki predpostavimo stalni enakomerni tok, ki se v naravi lahko pojavi le na dolgih, blago vijugajočih kanalih, kjer se dokončno razvije hitrost toka. Prav takšno obliko toka bom predpostavil tudi na mojem primeru, kljub temu, da najdemo v strugi veliko geometrijskih nepravilnosti, turbulentnost toka in neenako hrapavost ostenja, ki se spreminja z višino vode. Izgube energije se zaradi turbulentnega toka (ΔE) izenačijo z delom energije, ki je enak zmanjšanju potencialne energije ($z_1 - z_2$). To je posledica enakomernega padanja dna kanala. Enačbe so podlaga za razumevanje hidravlike odprtih vodotokov, ki pa jih lahko uporabimo tudi za obravnavo nestalnih in neenakomernih tokov, ampak moramo predpostaviti, da veljajo enačbe stalnega enakomernega toka v manjšem časovnem intervalu oz. na računskem odseku. (Steinman, 2010)

Stalni enakomerni tok nastopi, ko so pretok, površina, globina in hitrost konstantni v daljšem časovnem obdobju in v vsakem prečnem prerezu na daljšem odseku vodotoka. (Steinman, 2010)

Veljati morata dva pogoja:

$$Q(t, x) = \text{const.}$$

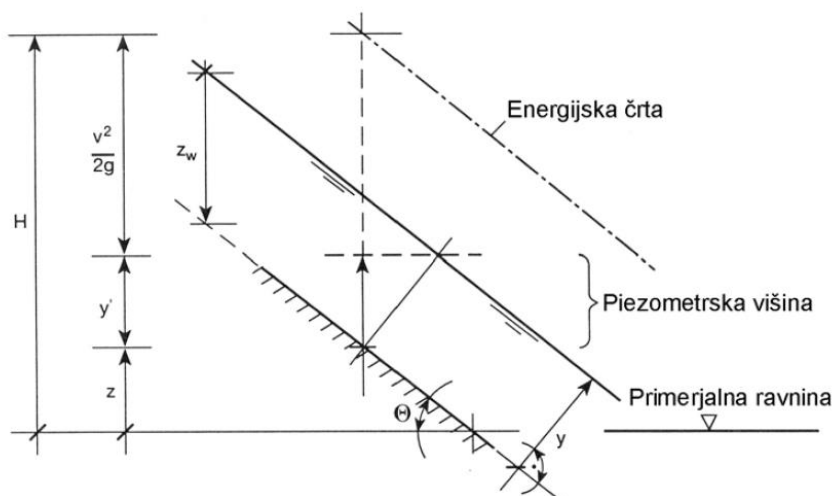
$$S(t, x) = \text{const.}$$

Torej velja:

$$v = \text{const.}$$

$$h = \text{const.}$$

Energijska črta mora biti vzporedna z dnom kanala in z vodno gladino.



Slika 3: Bernoullijeva enačba (Zalokar, 2015)

$$I_E = I_{gl} = I_d = I_o$$

Kjer je:

I_E ... naklon energijske črte

I_{gl} ... naklon vodne gladine

I_d ... naklon dna kanala

I_o ... oznaka za normalni tok

6 OCENA PRETOKOV PO EMPIRIČNIH ENAČBAH

Za določitev maksimalnih pretokov se uporablja veliko empiričnih enačb, ki so bile razvite za določene vodotoke, so zato regionalno pogojene in so razlike med rezultati lahko velike. Uporaba teh je v primeru kraških zaledji vprašljiva, ampak glede na razpoložljivost podatkov sem se vseeno odločil za izvedbo hidrološke ocene ekstremnih pretokov. Večina avtorjev enačb uporablja površino prispevnega območja kot glavno spremenljivko, ki vpliva na velikost pretoka. V nadaljevanju bom predstavil nekaj enačb na podlagi katerih bom ocenil največji možni pretok s stoletno povratno dobo (Q_{100}) v strugi hudournika.

6.1 Ryvesova enačba (1884)

Ryvesova formula se uporablja za vodotoke v južni Indiji. (Kestnar, 2012)

Enačba se glasi:

$$Q = C \cdot A^{2/3}$$

Kjer je: Q ... največji pretok (m^3/s)

C ... Ryvesova konstanta za hribovita območja je 10.2

A ... Površina prispevnega območja (km^2)

6.2 Fullerjeva enačba

Ta enačba poleg prispevnega območja upošteva tudi pogostost pojava. Razvita je bila za porečja v ZDA. (Kestnar, 2012)

$$Q = CA^{0.8}(1+0.8 \log T)$$

Kjer je: Q ... največji pretok (m^3/s)

C ... konstanta (0.18 – 1.88)

A ... Površina prispevnega območja (km²)

T ... povratna doba v letih

6.3 Foersterjeva enačba

V Sloveniji se enačba uporablja za določanje visoke vode na kraških območjih. (Kestnar, 2012)

$$Q = q \cdot A$$

Kjer je: Q ... največji pretok (m³/s)

A ... Površina prispevnega območja (km²)

q ... največji specifični pretok odvisen od velikosti prispevnega območja (m³/s/km²)

Preglednica 1: največji specifični pretok (Kestnar, 2012)

A (km ²)	1	1 - 10	10 - 40	40 - 100
q (m ³ /s/km ²)	5 - 3	3 - 1.5	1.5 - 1	1 - 0.5

6.4 Hofmanova enačba (1921)

Enačba se uporablja predvsem na območjih, ki imajo padce manjše od 4%. (Kestnar, 2012)

$$Q = m \frac{A}{\sqrt[3]{1+A}} \left(1 - 0.4 \frac{Aw}{A} \right)$$

Kjer je: Q ... največji pretok (m³/s)

A ... Površina prispevnega območja (km²)

Aw ... del padavinskega območja porasel z gozdom (km²)

m ... koeficient odtoka, ki je odvisen od povprečnega padca na 2/3 dolžine spodnjega dela doline in znaša:

4.5 ... za povprečne padce > 2%,

3.75 ... za povprečne padce 2 – 0.5%,

3.0 ... za povprečne padce 0.5%

6.5 Weyrauchova enačba (1930)

$$Q = q_{\max} \cdot A$$

$$q_{\max} = 4.2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4$$

Kjer je: Q ... največji pretok (m³/s)

A ... Površina prispevnega območja (km²)

q_{max} ... največji specifični pretok (m³/s/km²)

n₁ ... koeficient, odvisen od dolžine doline

n₂ ... koeficient, odvisen od deleža pogožitve

n₃ ... koeficient, odvisen od nagiba terena

n₄ ... koeficient, odvisen od prepustnosti površine

Preglednica 2: koeficient n₁ (Kestnar, 2012)

L (km)	n ₁
0 - 2	1
3	0.9
4	0.83
5	0.75
6	0.68
7	0.63
8	0.58
9	0.53
10	0.5

Preglednica 3: koeficient n₂ (Kestnar, 2012)

POGOZDENOST	n ₂
nepogozden teren	1
0.25 pogoženega	0.9
0.5 pogoženega	0.8
0.75 pogoženega	0.7
pogozden	0.6

Preglednica 4: koeficient n₃ (Kestnar, 2012)

OBLIKOVANOST TERENA	n ₃
zelo kopast s strmim pobočjem	1
zelo gričevnat	0.95
srednje gričevnat	0.9
malo gričevnat	0.85
položen, skoraj raven	0.8

Preglednica 5: koeficient n_4 (Kestnar, 2012)

PREPUSTNOST	n_4
neprepustno	1
slabo prepustno	0.9
srednje prepustno	0.8
zelo prepustno	0.7

6.6 Mellijeva enačba

Ob primerni izberi koeficienta φ_0 je Mellijeva enačba uporabna za vsa območja. (Kestnar, 2012)

$$Q = \frac{200 \cdot A}{\sqrt[3]{100 \cdot A}} \varphi_0$$

Kjer je: Q ... največji pretok (m^3/s)

A ... Površina prispevnega območja (km^2)

φ_0 ... odtočni koeficient za različne višinske položaje, nagibe terena in poraslosti

Preglednica 6: koeficient φ_0 (Kestnar, 2012)

VIŠINSKI POLOŽAJ	TLA IN PORASLOST	NAGIB TERENA		
		mali	srednji	veliki
nad gozdno mejo	neprepustni pašniki, goličave in skale	0.4	0.6	0.8
gozdno mejno področje	pašniki z grmičevjem in posameznimi drevesi	0.3	0.5	0.7
	redki gozd po celotnem območju	0.2	0.4	0.6
	manjši gozd, travniki in njive	0.1	0.3	0.5
nižje lege	samo gozd, srednje star	0.1	0.2	0.4
	stari gozd	0.05	0.15	0.3

6.7 Enačba Isowski (1886)

$$Q = C_h \cdot m \cdot h_N \cdot A$$

Kjer je: Q ... največji pretok (m^3/s)

A ... Površina prispevnega območja (km^2)

C_h ... koeficient, odvisen od oblikovanosti in sestave tal

m ... faktor velikosti padavinskega območja A

h_N ... povprečna letna višina padavin (m)

Preglednica 7: koeficient C_h (Kestnar, 2012)

LASTNOSTI TAL	C_h
za barja in podore	0.0235
za nižine in planote	0.0325
za mešan nižinski in gričevnat svet	0.0425
za položna gričevja	0.0800
za mešano sredogorje in gričevje ali strmo gričevje, za gorovje	0.0975
gorovje, neprepustna tla	0.29
gorovje, zelo neprepustna tla	0.55
gorovje, normalna poraslost	0.14
gorovje, zelo prepustna tla	0.055

Preglednica 8: faktor m za velikost prispevnega območja (Kestnar, 2012)

A (km ²)	m
1	10
10	9.5
20	9
30	8.5
50	7.95
100	7.40
150	7.10
200	6.87
300	6.55
400	6.22
500	5.90

6.8 Kresnikova enačba

Kresnikova enačba je primerna za hudourniška območja. (Kestnar, 2012)

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \frac{30}{0.5 + \sqrt{A}}$$

Kjer je: α ... koeficient, ki zajema vse faktorje, ki vplivajo na odtočnost ($\alpha = 0.4 - 1$)

A ... vodozbirna površina

Ta enačba je primerna za hudourniška območja in daje največje 100-letne pretoke. Koeficient α je v razponu od 0.4 – 1. Že, če uporabimo najmanjšo vrednost omenjenega koeficienta smo na varni strani, saj ta služi za določanje visokih vod v zgornjih strmih tokovih, z neprepustno podlago. (Repič, 2015)

7 MANNINGOVA ENAČBA ZA DOLOČITEV HIDRAVLIČNE PREVODNOSTI STRUGE

Gre za enačbo čisto eksperimentalnega značaja, saj je nastala kot rezultat izvedenja eksperimentalnih podatkov, torej brez izpeljave:

$$\bar{v} = \frac{1}{nG} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0}$$

$$Q = \bar{v} \cdot S \text{ ali}$$

$$Q = \frac{1}{nG} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0} \cdot S$$

Kjer je: n_G ... Manning-ov koeficient hrapavosti ostenja

\bar{v} ... povprečna hitrost po prerezu

R ... hidravlični radij: $R = S / O$

I_0 ... vzdolžni padec kanala

Q ... pretok

S ... površina pretoka v prerezu

7.1 Določanje Manningovega koeficienta v praksi

Za ocenitev (določitev) primernega koeficienta hrapavosti n_G je potrebno poznavanje več različnih faktorjev od katerih je n_G odvisen. Predstavil bom posamezne vplive, ki so na koncu zajeti v skupnem parametru – koeficientu hrapavosti. (Steinman, 2010)

a) Hrapavost ostenja:

Hrapavost omočenega oboda ima poglobljen pomen pri ocenjevanju vrednosti za n_G . Koeficient je višji, če je ostenje bolj hrapavo. Če obod sestavljajo gramoz in prodniki, ki se zbirajo običajno na dnu je vrednost koeficienta višja pri nižjih pretokih in relativno nižja ob višjih pretokih. Če je material na obodu finejši, je koeficient manjši. (Steinman, 2010)

b) Vegetacija:

Upoštevati moramo tudi vpliv zarasti saj zaustavlja tok vode in s tem povečuje vrednost koeficienta n_G . Odvisen je od tipa in gostote rastja, prav tako pa od višine vodnega toka. (Steinman, 2010)

c) Poljubna spremenljivost:

To opisuje spreminjanje prečnih presekov, oblike in omočenega oboda vodotoka. Postopne spremembe prečnih prerezov imajo skoraj da zanemarljiv vpliv na vrednost nG , medtem ko dajo nenadne spremembe veliko večje vrednosti za nG . (Steinman, 2010)

d) Prepreke, ovire

Prisotnost prepek v vodotoku lahko bistveno vpliva na vrednost nG . Odvisno je od števila in velikosti le teh. (Steinman, 2010)

e) Trasa vodotoka

Meandri manjših premerov dajejo višje vrednosti koeficienta nG kot pa krivine večjih premerov. (Steinman, 2010)

f) Transport plavin in izpodjedanje

To sta pojava, ki nenehno spreminjata obliko korita. To pa seveda povzroča povečanje koeficienta nG . Potrebno je ugotoviti, če sta in če bosta prisotna oba pojava tudi po ureditvi. (Steinman, 2010)

g) Vodostaj

V splošnem velja, da če se poveča vodostaj, se vrednost koeficienta nG zmanjša. To je posledica skal in gramoza, ki so na dnu in ob nizkem vodostaju niso v celoti pod vodno gladino. Vrednost nG pa se lahko s povečanjem vodostaja tudi zvišuje, če so višji deli brežin porasli z rastlinjem, bolj hrapavi ali, če se voda razlije na poplavno ravnico. V teh primerih moramo upoštevati sestavljeno vrednost za koeficiente nG . (Steinman, 2010)

V tabeli so prikazane vrednosti koeficientov hrapavosti nG glede na lastnosti površine omočenega oboda po Manningu.

Preglednica 9: vrednosti koeficientov hrapavosti n_G po Manningu (Steinman, 2010)

Vrsta površine	n_G za stanje površine			
	zelo dobro	dobro	običaj.	slabo
Medeninaste in steklene cevi	0.009	0.013	0.014	0.015
Lesene cevi	0.010	0.011	0.012	0.013
Vlečene cevi (brez šiva)	0.010	0.011	0.013	-
Litožel.cevi z asfaltnim premazom	0.011	0.012	0.013	-
Navadne litožel.cevi	0.012	0.013	0.014	0.015
Črne železne cevi	0.012	0.013	0.014	0.015
Pocinkane železne cevi	0.013	0.014	0.015	0.017
Navadne keramične drenažne cevi	0.011	0.012	0.014	0.017
Kanalizacijske cevi z glazuro	0.010	0.013	0.015	0.017
Betonske cevi	0.012	0.013	0.015	0.016
Kovane železne spiralne cevi	0.013	0.015	0.017	-
Površina s čvrstim cementom	0.010	0.011	0.012	0.013
Opečne cevi z glazuro	0.011	0.012	0.013	0.015
Premaz s cementno malto	0.011	0.012	0.013	0.015
Opečni zid v cementni malti	0.012	0.013	0.015	0.017
Betonski kanal	0.012	0.014	0.016	0.018
Obloga z obdelanim kamnom	0.013	0.014	0.015	0.07
Zid -lomljeni kamen v cementu	0.017	0.020	0.025	0.030
Suhi zid iz lomljenega kamna	0.025	0.030	0.033	0.035

8 SAGA-GIS

Sistem za automatizirane geografske analize (SAGA) je računalniški program za urejanje prostorskih podatkov. Razvila ga je majhna ekipa v oddelku za fizično geografijo na univerzi v Göttingenu v Nemčiji. Še vedno pa se program vzdržuje in dopolnjuje. (wikipedia)

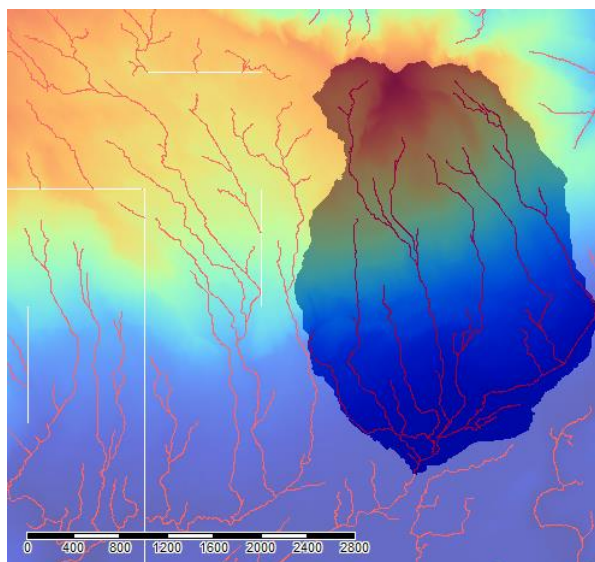
SAGA GIS je zelo močen program za rasterske analize in preprost za uporabo in uporabnikom ponuja veliko funkcij s katerimi si lahko pomagajo pri proučevanju geoznanstvenih problemov. Prav tako se spopada z vektorskimi podatki in podpira najbolj popularne formate za oba tipa podatkov, tako da lahko brez problemov uporabimo geografske podatke iz različnih virov. (Olaya, 2004)

Za potrebe diplomske naloge bom z omenjenim programom prikazal površino prispevnega območja hudournika. To bo eden izmed vhodnih podatkov za izračun maksimalnega pretoka na obravnavanem delu struge.

8.1 Analiza prispevnega območja s pomočjo programa SAGA-GIS

Z računalniškim programom SAGA – GIS sem ocenil velikost prispevnega območja na 4,8km². Najvišja nadmorska višina zbirnega območja je 2208m, najnižja pa na obravnavanem kritičnem odseku 452m. Povprečen padec terena je zelo velik in se giblje okoli 35%. Dolžina glavne struge

hudournika gorvodno od izbranega prečnega prereza je 740m. Od nadmorske višine 1300m naprej je območje pokrito s travo in rušjem, proti vrhu pa je vedno več neporaslega terena. Do višine 1300m pa sega listnati gozd z vmesnimi travnatimi površinami oz. pašniki.



Slika 4: prispevno območje potoka Gereš pridobljeno z računalniškim programom SAGA-GIS

9 NARAVNOGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI HUDOURNIŠKEGA OBMOČJA

9.1 Geografske značilnosti

Hudournik Gereš izvira v severnem obrobju Bovca. Vanj se izliva več manjših hudourniških pritokov, ki se napajajo z vodami iz 2208 m visokega Rombona. Topografska površina prispevnega območja je 4,8 km². Hidrološko je lahko ta vrednost vprašljiva zaradi kraškega zaledja. Njegova dolžina je približno 4,5 km. Kot levi pritok se izlije v potok Glijun, slednji pa je desni pritok reke Soče.

9.2 Geologija

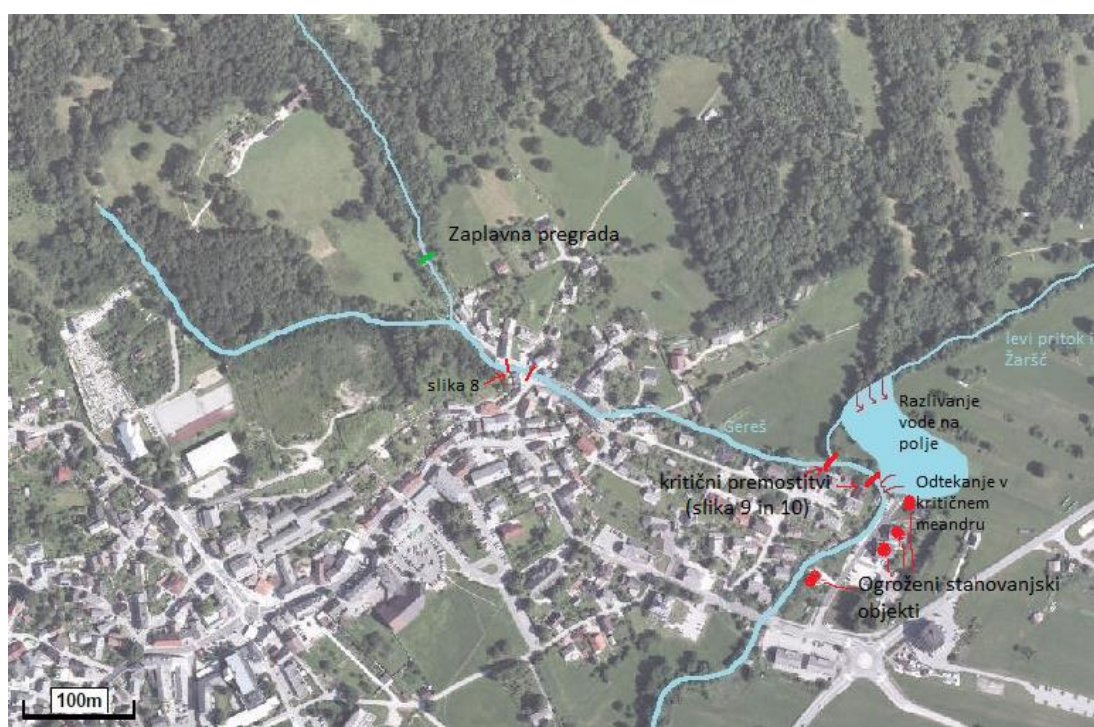
Bovška kotlina je zelo široka in obsežna. To je predvsem posledica njene geološke zgradbe. Čeznjo v dinarski smeri (SZ – JV) poteka Krnsko – Koblanski in Ravenski prelom, ki sta vzporedna Idrijskemu. To so trije prelomi, ki so seizmično aktivni. Nastali so s podirvanjem afriške litosferske plošče pod evropsko. Tektonsko ima Bovška kotlina značilnosti sinklinale. Na tem območju prevladujejo karbonatne kamnine. Zgornji sloj je iz peščenjakaste in laporaste kamnine (fliš), ki zelo hitro razpada. Najdemo jo v soškem produ in v ledeniških nanosih. Nastala je v zgornje krednem obdobju, ko je bilo na tem območju še morje. Pod to plastjo se nahaja razmeroma tanka plast spodnjekredne in jurske starosti. Temu pa sledita glavni kamnini Kaninskega pogorja. Najprej debeloskladoviti dachsteinski apnenec, pod njim pa še dolomit. Apnenčasti skladi so na Kaninu nagnjeni proti jugu in segajo pod

nalivi. Količina padavin se giblje med 2000 in 3500 mm na leto. Največ padavin pade v jesenskih mesecih (Oktober, November). V višjih legah pa velik del padavin pade v obliki snega, ki se topi vse leto. Na kaninskem pogorju tudi do 5 m. Posledica močnih nalivov in topljenja snega so narasli hudourniki, ki erodirajo in poglobljajo struge in material transportirajo v nižje ležeče in položnejše lege. Zaradi teh procesov hudourni voda odplavlja plodno prst, ki je ključnega pomena za rast. (Jesenovec, 1995)

Preglednica 10: povratne dobe za ekstremne padavine za meteorološko postajo Bovec (ARSO, 2016)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA						
	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let
5 min	9	12	15	17	19	21	24 mm
10 min	14	19	23	27	30	34	38 mm
15 min	18	25	29	35	39	44	49 mm
20 min	21	29	34	41	46	51	58 mm
30 min	25	36	44	53	60	67	76 mm
45 min	31	45	55	67	76	85	97 mm
60 min	35	52	63	77	88	98	112 mm
90 min	42	62	76	93	106	119	135 mm
120 min	48	73	89	109	124	139	159 mm
180 min	60	96	120	150	173	195	224 mm
240 min	70	113	142	178	205	232	267 mm
300 min	79	129	162	203	234	264	304 mm
360 min	88	139	174	217	249	281	323 mm
540 min	105	159	194	239	272	305	349 mm
720 min	120	176	213	260	295	330	375 mm
900 min	134	195	236	287	325	363	412 mm
1080 min	146	212	256	311	352	392	446 mm
1440 min	164	238	287	349	395	440	500 mm

10 PREGLED STANJA STRUGE



Slika 7: celotna situacija hudournika Gereš s pritoki (Atlas okolja, 2016)

Glavni izvir potoka Gereš je v severnem delu Bovca v neposredni bližini pokopališča. Po približno sto metrih priteče po neurejeni strugi do Male vasi, ki je del Bovca. Tu se mu iz leve strani pridruži manjši pritok brez imena na katerem je tik pred sotočjem zgrajena manjša betonska zaplavna pregrada. Namen te pregrade je zaustavitev hudourniških plavin, ki bi lahko v nižjih poseljenih delih lahko povzročile precej posredne in neposredne škode. Skupaj nadaljujeta pot skozi gosto naseljen del Bovca v trapezni strugi, ki je iz kamna v betonu. Na tem delu je veliko premostitvenih objektov, ki so v preteklosti že povzročali nevšečnosti.



Slika 8: gosto naseljen del Bovca, kjer potok teče v trapeznem koritu iz kamna v betonu (avtor, terenski ogled 21.3.2016)

Po slabih 200 m struga ostaja iste oblike, le da je regulirana iz obeh strani z zemeljskima nasipoma, ki varujeta obrežne stanovanjske objekte. Tik pred kritičnim, ostrim, desnim meandrom potok Gereš dobi iz leve strani (Žaršč) še en hudourniški pritok. Le ta ima ob intenzivnih in daljših padavinah veliko pretočnost, katere ni sposoben prevajati. Zato omenjen pritok zapušča strugo in se razliva po polju vse do stanovanjskih objektov, ki so zaščiteni z nizkim betonskim zidom in zemeljskim nasipom, ki naj bi vodo zopet vrnil v strugo potoka Gereš. To je tudi edini razlog, da je leva brežina potoka Gereš v desnem meandru nižja od desne. Omenjeni zaščitni objekti pogosto ne izpolnijo svoje funkcije, zato se je hudourniška voda že velikokrat razlila po dovozni cesti, ki vodi do stanovanjskih hiš in hotelskega kompleksa.



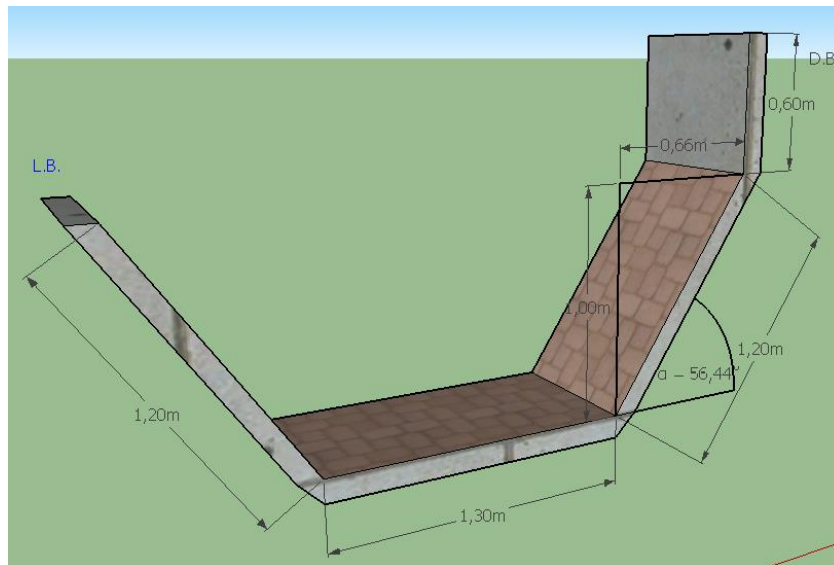
Slika 9: potok Gereš (desno) in njegov levi pritok iz Žaršč (avtor, terenski ogled 21.3.2016)



Slika 10: zemeljski nasip, ki usmerja vodo iz polja nazaj v strugo potoka (avtor, terenski ogled 21.3.2016)

11 GEOMETRIJA IN HIDRAVLIČNA PREVODNOST STRUGE NA KRITIČNEM ODSEKU

Struga je geometrijsko gledano zelo blizu hidravlično najugodnejši trapezni obliki. Dno je široko 1,3 m. Brežini sta po kotu $56,44^\circ$ in njuna višina je 1,0 m. Desna brežina je nadvišana za 0,6 m kar pa ne pomaga pri večji hidravlični prevodnosti, saj se presek nahaja v desnem meandru. Manningov koeficient hrapavosti za korito, ki je obloženo z lomljenim kamnom v betonu je 0,025.



Slika 11: prečni prerez korita na kritičnem odseku (desni meander)

Podatki: $B = 1,3 \text{ m}$, $h = 1 \text{ m}$,
 $\alpha = 56,44^\circ$, $x = 1,2 \text{ m}$,
 $h_1 = 0,6 \text{ m}$, $m = 0,66$

kjer je: B ... Širina dna struge,
 h ... višina struge,
 α ... naklon brežin,
 x ... dolžina brežin,
 h_1 ... višina vertikalnega betonskega zidu,
 m ... naklon brežin

11.1 Račun največje hidravlične prevodnosti struge po Manningovi enačbi na izbranem kritičnem odseku

V tem poglavju je izračunan največji možni pretok, ki ga obstoječa struga še lahko prevaja pod premostitvijo v kritičnem desnem zavojju.

$$Q = \frac{1}{n_G} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0} \cdot S = 6,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$n_G = 0,025$ (za običajno stanje lomljenega kamna v betonu)

$$R = \frac{S}{P} = 0,531 \text{ m}$$

$$S = B \cdot h + m \cdot h^2 = 1,96 \text{ m}^2$$

$$m = 0,66$$

$$P = B + 2 h \cdot \sqrt{1 + m^2} = 3,70 \text{ m}$$

$I_0 = 1,4\%$ (merjeno na kritičnem odseku z uporabo Atlasa okolja)

Kjer je: m ... naklon brežin

12 IZRAČUN MAKSIMALNEGA PRETOKA PO EMPIRIČNIH ENAČBAH

V okviru diplomske naloge nismo opravili detajlne hidrološke analize, ampak smo za oceno visokovodnih voda (Q100) uporabili empirične enačbe.

12.1 Ryvesova enačba

Preglednica 11: največji pretok po Rv diplomskem delu yvesovi enačbi

Q	največji pretok (m ³ /s)	29
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
C	Ryvesova konstanta	10.2

12.2 Fullerjeva enačba

Preglednica 12: največji pretok po Fullerjevi enačbi

Q	največji pretok (m ³ /s)	17
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
C	konstanta	1
T	povratna doba (leta)	100

12.3 Foersterjeva enačba

Preglednica 13: največji pretok po Foersterjevi enačbi

Q	največji pretok (m ³ /s)	9.6
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
q	največji specifični pretok (m ³ /s/km ²)	2

12.4 Hofmanova enačba

Preglednica 14: največji pretok po Hofmanovi enačbi

Q	največji pretok (m ³ /s)	7.5
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
m	koeficient odtoka	3.75
Aw	del padavinskega območja porasel z gozdom (km ²)	3

12.5 Weyrauchova enačba

Preglednica 15: največji pretok po Weyrauchovi enačbi

Q	največji pretok (m ³ /s)	8.2
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
q _{max}	največji specifični pretok (m ³ /s/km ²)	1.71
n ₁	koeficient, odvisen od dolžine doline	0.83
n ₂	koeficient, odvisen od pogožditve	0.7
n ₃	koeficient, odvisen od nagiba terena	1
n ₄	koeficient, odvisen od prepustnosti površine	0.7

12.6 Mellijeva enačba

Preglednica 16: največji pretok po Mellijevi enačbi

Q	največji pretok (m ³ /s)	74
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
φ ₀	odtočni koeficient	0.6

12.7 Enačba Isowski

Preglednica 17: največji pretok po enačbi Isowski

Q	največji pretok (m ³ /s)	6.3
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
C _h	koeficient, odvisen od oblikovanosti in sestave tal	0.055
m	faktor velikosti padavinskega območja A	9.5
h _N	povprečna letna višina padavin (m)	2.5

12.8 Kresnikova enačba

Preglednica 18: največji pretok po Kresnikovi enačbi

Q	največji pretok (m ³ /s)	26.8
A	površina prispevnega območja (km ²)	4.8
α	koeficient	0.5

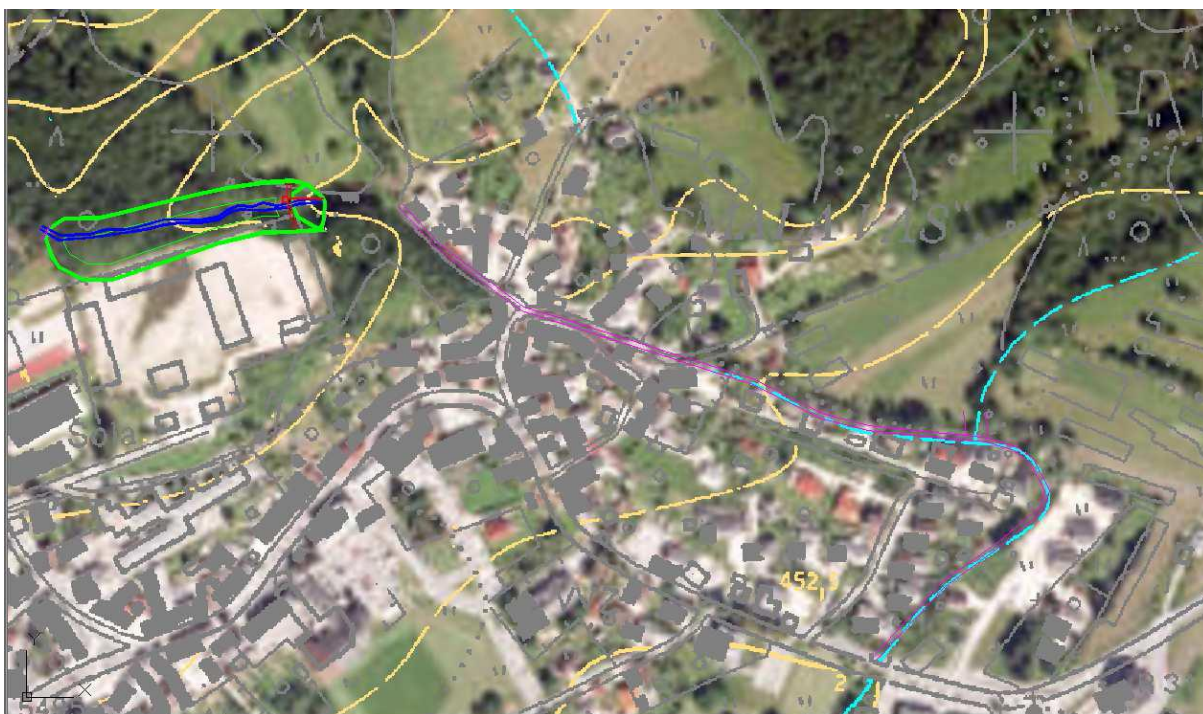
12.9 Primerjava rezultatov empiričnih enačb

Pri izračunu največjih pretokov po empiričnih enačbah dobimo vrednosti s precej velikim razponom (od 6.3 do 74 m³/s). Nekatere enačbe (Ryvesova, Fullerjeva, Mellijeva, Kresnikova) dajo zelo velike pretoke. Glede na dejstvo, da gre za kraško zaledje smo se odločili, da v nadaljnjih analizah upoštevamo povprečje pretokov izvrednotenih po Foersterjevi, Hofmanovi, Weyrauchovi, enačbi Isowski in Kresnikovi enačbi. V Slovenski hudourniški praksi se za oceno 100-letne visoke vode sicer uporablja Kresnikova enačba. V našem primeru to ni mogoče saj smo prostorsko zelo omejeni. Velja pa omeniti, da se na večino enačb, ki so bile razvite za uporabo v določenih hidroloških razmerah ne moremo povsem zanesti. Zato je tu potrebna predvsem inženirska presoja, ki jo bomo v okviru predlagane zasnove ureditve kritičnega odseka predstavili v naslednjem poglavju. Dimenzionirali bomo torej na povprečni pretok prej omenjenih enačb (11,7 m³/s), s tem da bomo poskušali čim boljje izkoristiti prostor, ki ga imamo na razpolago.

13 ZASNOVA PROTIPOPLAVNE UREDITVE KRITIČNEGA ODSEKA

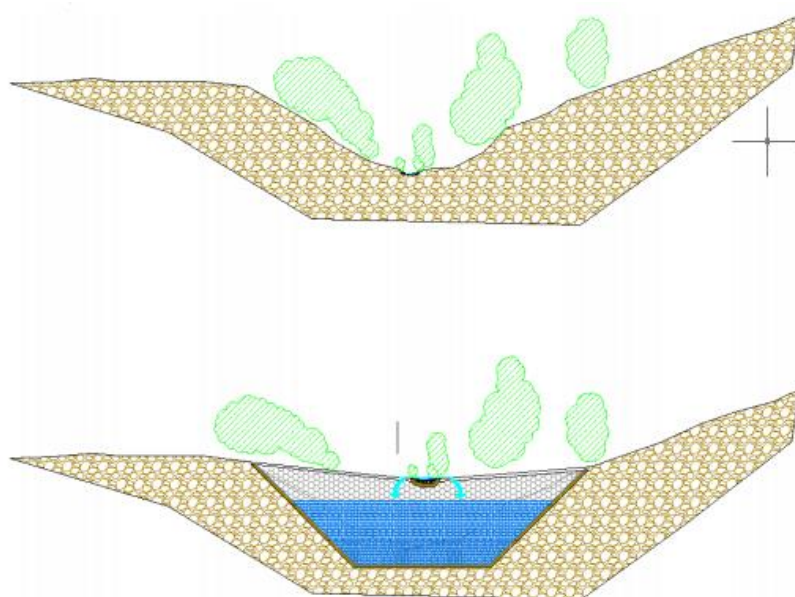
13.1 Povzetek predvidenih ukrepov na hudourniku Gereš (IZVO-R projektiranje in inženiring d.o.o.)

Predstavil bom koncept ureditve, ki je bil predlagan leta 2014 s strani podjetja IZVO-R. Projekt kasneje ni bil realiziran. Na situaciji površina označena z zeleno barvo prikazuje območje akumulacije, medtem ko je struga potoka Gereš obarvana z vijola barvo.

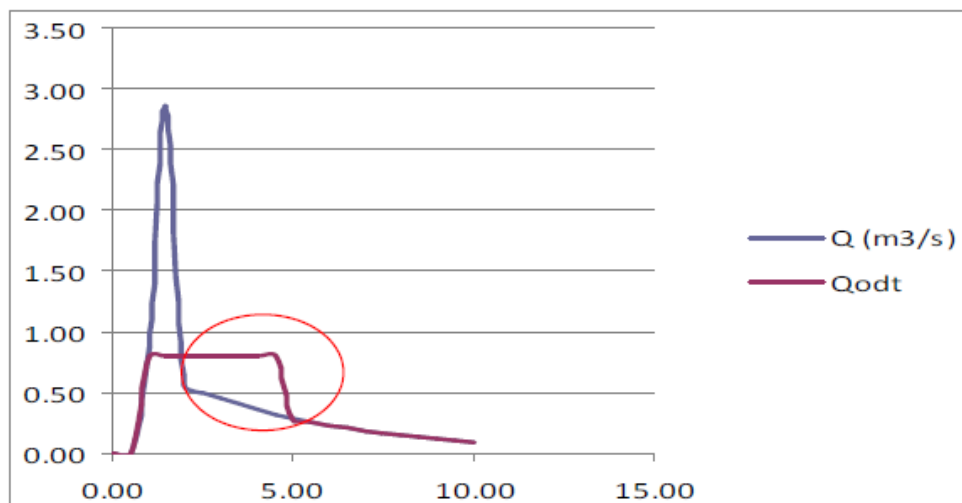


Slika 12: Situacija območja Bovca s prikazanim območjem akumulacije iz porozne zemljine (IZVO-R, 2014)

Predvidena je ureditev akumulacije s porozno zemljino v zgornjem delu potoka Gereš med platojem opuščene in porušene vojašnice in pobočjem Praprotnice. To pomeni, da bi se v akumulaciji nahajala voda med seperiranim agregatom. Predlagana dolžina je bila 180 m, širina 40 m in globina do 10 m. Ocenjena maksimalna prostornina za porozno zemljino je 30.000 m³. Akumulacija pa bila sposobna zadržati okoli 10.000 m³ vode. Omenjeno območje je zaraščeno z drevjem, zato bi bila najprej potrebna odstranitev vegetacije in humusa, ki se ga deponira na platoju na južni strani potoka. Nato bi bil potreben odkop gruščnate zemljine do globine 10 m (morda 15 m). Nagibi vkopanih brežin so bili predvideni v razmerju 1:1. Naslednji korak bi bila izvedba tesnilnega sloja dna in brežin s kredno glino in izvedba armiranobetonske hudourniške pregrade z jaškom in izpustnim cevovodom na dolvodni strani objekta. Nato bi se v akumulacijo nasulo seperirano izkopano zemljino, ki bi se vgrajevala v plasteh, ki jih predpiše hidrogeolog. Površino bi se oblikovalo v nagibu proti sredini zasipa. Strugo pa bi poskušali sonaravno urediti s predhodno tesnitvijo dna in bokov do kote visoke vode, ki se še ne akumulira. Preko seperirane zemljine bi razgrnili geotekstil in najn položili izkopan humus ter posadili obvodno vegetacijo.



Slika 13: prikaz prereza skozi grapo pred in po izvedbi akumulacije iz porozne zemljine (IZVO-R, 2014)
Akumulacija bi zadržala konice visokovodnega vala. Te so na mestu akumulacije (zgornji del potoka) ocenili na približno $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$. S tem bi se zmanjšala vrednost pretoka, ki povzroča poplave v dolvodnem odseku skozi Malo vas na približno $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Žal nimamo podatkov o tem na kakšen način je bila konica pretoka iz vrednotena v študiji IZVO-R. Podatek o maksimalni prevodnosti obravnavanega kritičnega odseka ni naveden. Shematični prikaz je podan na naslednjem grafu.



Slika 14: shematični prikaz delovanja akumulacije. Abscisa prikazuje čas, ordinata pa pretok. Modra črta predstavlja odtok brez vpliva akumulacije. (IZVO-R, 2014)

13.2 Avtorjev predlog ureditve

Najprej bi bilo potrebno urediti strugo levega pritoka iz Žaršč. Le ta ni zmožna prevajati visokovodnih konic, zato se voda razliva levo po polju vse do stanovanjskih objektov. Struga je obdana z veliko obrasti in z drevesi, ki onemogočajo kakršnekoli posege v in ob strugi. Potrebno bi bilo odstraniti vso vegetacijo in brežine struge nadvišati z nasipi višine 0,5 m najprej iz leve strani, 100 m pred sotočjem s potokom Gereš pa še iz desne. Brežine levega pritoka bi izvedel s kamnom v suho in dno razširil za 0,5 m v dolžini 300 m gorvodno od sotočja. 100 m pred sotočjem bi predvidel bočni preliv v levi brežini, saj je na tem mestu možno razbremenjevanje ob zelo visokih pretočnih konicah. Voda bi se kontrolirano razlila po polju vse do stanovanjskih objektov, kjer bi namesto nizkega betonskega zidu, predvidel usmerjevalni nasip v višini 1,5 m in dolžini 100 m. Predvidena površina suhega zadrževalnika bi bila 3500 m². Zadržal bi lahko približno 3000 m³ vode, ki se po prehodu poplavnega vala kontrolirano vrača nazaj v strugo Gereša. Prav tako bi strugo potoka od sotočja s hudournikom iz Žaršč, vse do prepusta pod glavno cesto (v dolžini 200 m) razširil za 0,5 m. Oblika struge bi ostala trapezne oblike. Celotno levo brežino (od sotočja do konca desnega meandra v dolžini 80 m), ki je sedaj nižja od desne bi dvignil z zemeljskim nasipom v višini 1 m. Naklon mokre strani nasipa bi sovpadal z naklonom brežin trapezne struge in bi bil izveden s kamnom (lomljencem) v suho. Hidravlično najbolj obremenjeni del rečnega zavoja v dolžini 18 m (izračun v točki 13.4) bi izvedel s kamnom (lomljencem) v betonu. Naprej struga poteka med stanovanjskimi objekti. Na tem mestu nasip ne bo možen zaradi utesnjenosti, zato bi brežine nadvišal z betonskim zidom v višini 0,5 m. Dve premostitvi, ki se nahajata na sotočju s hudourniškim pritokom iz Žaršč in 20 m dolvodno bi porušil in jih ponovno postavil v koti višine nasipa (0,6 m višje). S tem bi zmanjšal možnosti zatikanja morebitnih večjih plavin na tem mestu. Izračun hidravlične prevodnosti prepusta na kritičnem odseku je podan v naslednji točki.

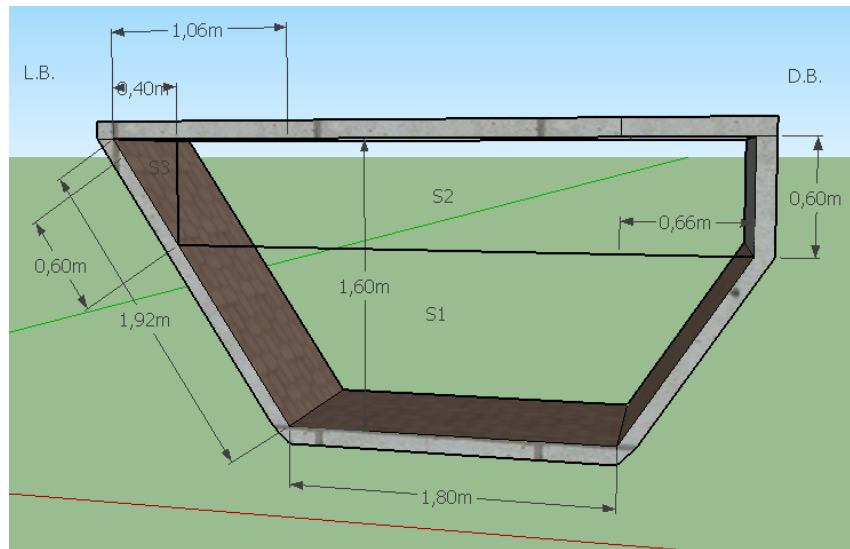
Z relativno enostavnimi ukrepi na kritičnem odseku hudournika, bi povečali prevodnost struge za 2-krat. Dodatno količino vode ob poplavnih konicah bi delno lahko zadržal suhi zadrževalnik, zato sem mnenja, da z omenjenimi ukrepi znatno povečamo poplavno varnost SV dela Bovca. Izgradnja akumulacije v zgornjem delu hudournika bi sicer prispevala k dodatni protipoplavni varnosti, vendar je njena izvedba vprašljiva zaradi pričakovanih visokih investicijskih stroškov. Celotna situacija je prikazana na sliki 15.



Slika 15: situacija prikazuje protipoplavne ukrepe na kritičnem odseku (Atlas okolja, 2016)

13.3 Račun hidravlične prevodnosti struge po ureditvi na kritičnem odseku s premostitvijo

V tem poglavju je podan izračun maksimalnega pretoka preurejene struge pod premostitvijo, v kritičnem desnem zavoju.



Slika 16: prečni prerez korita v kritičnem meandru s premostitvijo

Podatki: $B = 1,8 \text{ m}$,

$b_1 = 0,4 \text{ m}$,

$h = 1 \text{ m}$,

$h_1 = 0,5 \text{ m}$ (namesto 0,6 m, da lahko obravnavamo kot tok s prosto gladino),

$\alpha = 56,44^\circ$,

$x = 0,6 \text{ m}$

kjer je: x ... dolžina nadvišane leve brežine

$$Q = \frac{1}{nG} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0} \cdot S = 12,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$nG = 0,025$ (za običajno stanje lomljenega kamna v betonu)

$$R = \frac{S}{P} = 0,65 \text{ m}$$

$$S_1 = B \cdot h + m \cdot h^2 = 2,46 \text{ m}^2$$

$$S_2 = B \cdot h_1 = 0,9 \text{ m}^2$$

$$S_3 = \frac{b_1 \cdot h_1}{2} = 0,1 \text{ m}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 3,46 \text{ m}^2$$

$$m = 0,66$$

$$P = B + 2 h \cdot \sqrt{1 + m^2} + h_1 + x = 5,34 \text{ m}$$

$$I_0 = 1,4\% \text{ (merjeno na kritičnem odseku z uporabo Atlasa okolja)}$$

13.4 Ocena strižnih napetosti s pomočjo Shieldsove enačbe

Izračunane so strižne napetosti (τ_z) v kritičnem desnem zavoju ob polni strugi. Prav tako je določena dolžina brežine (L_p), ki je najbolj hidravlično obremenjena in potrebna dodatne utrditve.

$$B_{gl} = 3,45 \text{ m,}$$

$$R_c = 23 \text{ m,}$$

$$k_z = 2,38 - 0,206 \cdot \frac{R_c}{B_{gl}} + 0,0073 \cdot \left(\frac{R_c}{B_{gl}}\right)^2 = 1,33,$$

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R \cdot I_0 = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,65 \text{ m} \cdot 0,014 = 88,99 \text{ N/m}^2,$$

$$R = \frac{S}{P} = 0,65 \text{ m (privzeto iz prejšnje točke),}$$

$$S = 3,46 \text{ m}^2 \text{ (privzeto iz prejšnje točke),}$$

$$P = 5,34 \text{ m (privzeto iz prejšnje točke),}$$

$$\tau_z = \tau_0 \cdot k_z = 118,35 \text{ N/m}^2,$$

$$L_p = \alpha \cdot (R^{7/6}) / n_G = 17,91 \text{ m,} \quad \alpha = 0,74 \text{ (konst.)}$$

Kjer je: B_{gl} ... širina gladine,

R_c ... radij zavoja,

k_z ... koeficient za upoštevanje povečanih strižnih napetosti v rečnem zavoju,

τ_0 ... strižna napetost,

τ_z ...strižna napetost v zavoju,

L_p ... hidravlično najbolj obremenjena dolžina zavoja

14 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu sem se soočil s problematiko poplavljanja potoka Gereš in njegovih pritokov v okolici Bovca.

V prvem delu naloge sem predstavil gradbenotehnične ukrepe za urejanje hudournikov, ter hidravliko le teh. Prav tako so v tem delu predstavljene empirične enačbe s katerimi lahko računamo odtok iz porečij.

V drugem delu je s pomočjo računalniškega programa SAGA-GIS predstavljeno obravnavano prispevno območje hudournika. Prav tako je opisano obstoječe stanje struge ter izračunana največja hidravlična prevodnost na kritičnem odseku. V nadaljevanju sem za obravnavan odsek preizkusil osem empiričnih enačb, ki so dale rezultate v zelo velikem razponu. V enačbah nastopajo različni koeficienti, ki sem jih ocenil glede na lastnosti prispevnega območja. Glede na dejstvo, da gre za kraško zaledje smo se odločili, da v nadaljnjih analizah upoštevamo povprečje pretokov iz vrednotenih po Foersterjevi, Hofmanovi, Weyrauchovi, Kresnikovi in enačbi Isowski. Rezultati teh enačb nam dajo pretoke na katere še lahko dimenzioniramo strugo, glede na to, da smo prostorsko omejeni. Vzrok za veliko odstopanje rezultatov so različni avtorji, ki so razvili enačbe za različna območja. Prav zaradi tega dobljenim rezultatom ne moremo povsem zaupati. To pa je razlog, da v vodarski stroki igra pomembno vlogo inženirska presoja, katere sem se tudi sam poslužil.

V zadnjem delu je predstavljena idejna zasnova protipoplavne ureditve kritičnega odseka in drugih pritokov, ki na ta odsek vplivajo. Levi pritok Gereša bi razširil in nadvišal z nasipi. V levem nasipu bi predvidel bočni preliv, kjer bi se voda razlila v suhi zadrževalnik. Od sotočja dolvodno (vse do prepusta pod glavno cesto) strugo prav tako razširil in jo nadvišal z nasipom le na levi strani. V zgornjem delu potoka Gereš pa še vedno obstaja možnost ureditve akumulacije s porozno zemljino. Le ta zahteva ogromno zemeljskih del in posledično veliko finančno investicijo, zato je vprašanje, če je občina Bovec takšno investicijo pripravljena izvesti. Menimo, da bi s predlaganimi relativno enostavnimi ukrepi bistveno povečali poplavno varnost.

VIRI

Brilly, M. 1994. Zaščita pred poplavami. Priročnik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 67 str.

Mikoš, M., Brilly, M., Ribičič, M. 2004. Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji = Floods and landslides in Slovenia. Acta hydrotechnica 22, 37: 113-133.

Mikoš, M. 2009. Osnove hudourništva. Varstvo pred hudourniki in zemeljskimi plazovi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 217 str.

Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M. 1999. Vodne ujme. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 186 str.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov. Skripta. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 182 str.

Steinman, F. 2010. Hidravlika. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 294 str.

Panorama. 2016.

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5VloJDdewR8J:web.deskline.net/documents/STO/ffdd2a1b-5139-4e34-a030-dfbc92d3f715/1/Bov%25C5%25A1ka%2520panorama.pdf%3FlinkKey%3Daccoslo%26userName%3D%26POS%3D5a03b2d3-856a-479d-891e-ab73503d31e0%26PG%3Dbb556229-e7b1-4f21-9c6a-2bea7120bf5a+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=si> (pridobljeno 2. 7. 2016.)

ARSO, povratne dobe za ekstremne padavine. 2016.

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/return-periods/Bovec.pdf (pridobljeno 16. 7. 2016.)

Olaya, 2004. A gentle introduction to SAGA GIS: str. 216

Splošno o programu SAGA GIS

https://en.wikipedia.org/wiki/SAGA_GIS (pridobljeno 2. 7. 2016.)

Kestnar, K. 2012. Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kestnar): 50 str.

Repič, U. 2015. Analiza hidravličnih razmer v strmi strugi na primeru ureditve struge Hotoveljščice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba U. Repič): 39 str.

Suhadolnik, P. 2007. Urejanje hudournikov in varstvo okolja na primeru Podlipščice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba P. Suhadolnik): 65 str.

Gunzek, M., Burger, J.. 2016. Protipoplavni ukrepi v Celju. Raziskovalna naloga.
<http://www.ce.sik.si/raziskovalne/4201604105.pdf> (pridobljeno 29. 8. 2016)

Trobec, T. 2011. Vodogradbeni protipoplavni ukrepi za varstvo pred škodljivim delovanjem hudourniških poplav kot sestavni del obvladovanja poplavnega tveganja. Znanstveni članek. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta: 22 str.

Jesenovec, S. 1994. Pogubna razigranost. 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem: 1884-1994. Ljubljana. PUH-podjetje za urejanje hudournikov: 276 str.

Atlas Slovenije

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (pridobljeno 3. 9. 2016.)

Zalokar, M. 2015. Prečni objekti na hudournikih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Zalokar): 68 str.

IZVO-R. 2014. Opis predvidenih ukrepov na hudourniku Gereš. Interno gradivo.